

振動台を使った強制振動実験による橋梁模型の倒壊確認試験

宇都宮大学

学生員

○影山達也

フェロー会員

中島章典

学生員

Thay Visal

学生員

丸山祥平

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震にて、ピルツ橋脚17本が上部構造と一体となって倒壊した。今後発生が危惧されている大地震によって橋脚が倒壊するようなことがあった場合、橋梁がどのように倒壊するかを事前に把握できていれば、橋梁や橋梁周辺に及ぶ被害を抑えることができる。しかし、地震により橋梁が倒壊する時の挙動を確認した例はあまり見られない。

そこで本研究では、地震により橋梁が倒壊したときに上部構造や橋脚が示す挙動を確認することを目的として、振動台実験により橋梁模型を倒壊させることでその挙動を観察する。

2. 試験体詳細

本研究で用いた試験体を図-1～図-4に、その詳細を表-1に示す。橋脚部材には安価で比較的容易に倒壊確認が可能であると考えたため、アルミ板を使用している。橋脚模型を振動台に固定するために土台としてH鋼を用いている。橋脚とH鋼の固定には2つのアングル材でアルミ板を挟み込み、ボルトで固定した。土台となるH鋼と振動台の固定も同様にボルトを用いて固定している。1枚のアルミ板を用いて行う単柱模型の振動実験において、橋脚頂部におもりを載荷するために図-2のように橋脚基部と同様に2つのアングル材でアルミ板を挟み込み、ボルトによる固定で単柱模型を作製した。2枚のアルミ板と上部構造を用いて行う橋梁模型の振動実験において、各橋脚基部の固定はアルミ板1枚の実験と同様である。作製した橋梁模型は図-2のように、1枚のアルミ板はアングル材とボルトを用いて上部構造に固定してあり、アルミ板の厚さは3mmで統一している。一方、実橋梁を考慮してもう1枚のアルミ板は橋脚頂部と上部構造間の摩擦のみによる固定とし、アルミ板の厚さは実験によって変更する。上部構造の質量は13.36kgであり、可動支承橋脚と上部構造の接触部にOHPシートを敷き、また橋脚頂部にアングル材を設けることで接触面積を広げ、可動支承を再現した。図-4のように、可動支承には強制振動時に作用する変位制限装置を設置し、破壊され拘束力が低下することで橋梁模型に及ぼす影響を検証する。可動支承に設置してある落橋防止装置は、強制振動時に上部構造が橋脚から外れて落橋しそうになった場合に働き、働いた場合に橋梁模型に及ぼす影響を検証する。ここでは模型の倒壊を目的としているため、図-4に示す変位制限装置は木材とリード線で作製した非常に脆いものとなっている。

3. 振動実験

(1) 実験方法

橋脚模型の頂部に加速度計を設置し、頂部をハンマーで加振させ、振幅の大きさを変えながら加速度を測定した。そこから得られた模型頂部の加速度の自由振動波形より固有振動数を求めた。その後、橋脚模型頂部に設置した加速度計を外し、振動台により加振させることで橋脚模型を倒壊させた。加振に用いた地震波は釧路沖地震時のJMA 釧路記録波を調節した地震波である。橋脚模型の橋脚部材寸法、橋脚間距離などを変更して同様の実験を行い、その倒壊挙動を比較した。

表-1 断面諸量

部材	寸法 (mm)	単位体積重量 (kN/m ³)
橋脚部材	300 × 20 × 2	2.3
	300 × 20 × 3	2.7
おもり	150 × 85 × 16	7.8

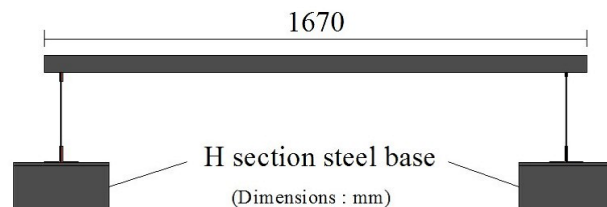


図-1 橋梁模型

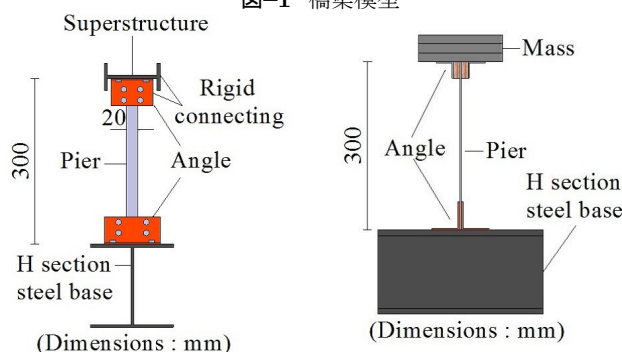


図-2 橋梁模型側面図

図-3 単柱模型

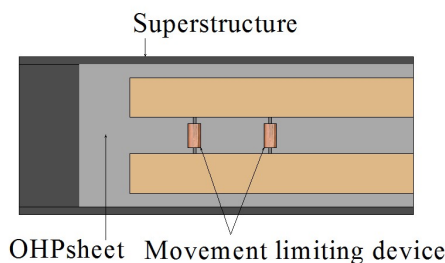


図-4 上部工可動支承詳細

(2) 実験結果

単柱模型の振動実験詳細項目を表-2に、橋梁模型の振動実験詳細項目を表-3に示す。写真-1は単柱模型の倒壊後であり、単柱模型は橋脚の厚さに関わらず類似した倒壊挙動を示した。倒壊時に用いた地震波による振動台の最大応答加速度は10.0m/s²であった。

橋梁模型1の実験では、振動により変位制限装置が壊れた場合の挙動を検証する。変位制限装置が破壊された際に厚さ2mmのアルミ板橋脚が加振方向に大きく倒れ、上部構造が橋脚頂部から外れて倒壊するという結果を示した。これより、変位制限装置が破壊されて上部構造の可動範囲が広がったことが、上部構造が橋脚頂部から外れて倒壊した原因だと考えられる。加振により倒壊寸前時の橋梁模型を写真-2に示す。

橋梁模型2の実験では、可動支承を有する橋脚の厚さを2mmから3mmに変更し、変位制限装置を設けないことで

Key Words: 橋梁模型 振動実験 倒壊 支承条件

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6210

表-2 単柱模型の振動実験詳細

アルミ板橋脚厚 (mm)	おもりの重量 (N)	固有振動数 (Hz)	倒壊前の目測による柱頂部最大変位 (mm)
2	19.8	0.37	105
3	48.6	0.98	114

表-3 橋梁模型の振動実験詳細

試験体名	可動支承側アルミ板橋脚厚 (mm)	橋脚間距離 (mm)	固有振動数 (Hz)	倒壊時の振動台最大応答加速度 (m/s^2)
橋梁模型 1	2	1555	2.44	7.5
橋梁模型 2	3	1555	3.17	10.0
橋梁模型 3	2	1595	2.56	7.5
橋梁模型 4	3	1595	3.17	7.4

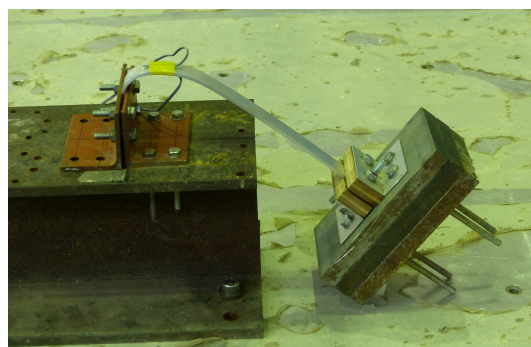


写真-1 倒壊後の単柱模型



写真-2 橋梁模型 1 の倒壊寸前時

表-4 アルミ板の厚さによる最大ひずみの比較

試験体	アルミ板厚 (mm)	最大ひずみ ($\times 10^{-6}$)	振動台加速度 (m/s^2)
単柱模型	2	6450	10.0
	3	11021	10.0
橋梁模型 1	2	18350	7.5
	3	16373	7.5

摩擦のみの固定とした場合、橋梁模型 1 で行った実験と橋梁模型の挙動の違いを検証する。可動支承が摩擦のみの拘束となり、固定支承の橋脚に力が大きく加わり変形を起こして倒壊するという結果を示した。これより同じ厚さの橋脚において可動支承と固定支承を有している橋梁では、固定支承を有している橋梁に大きな力が加わるため倒壊することが考えられる。

橋梁模型 3 の実験では、振動により変位制限装置が壊れて支承から上部構造が落橋した際に落橋防止装置がない場合の挙動を検証するため、上部構造の桁かかり長を少なくした橋梁模型において実験を行った。結果として、橋梁模型 1 の実験と同様に変位制限装置が破壊されると厚さ 2mm のアルミ板が加振方向に倒れ、倒壊した。これは橋梁模型 1 と同様、変位制限装置が破壊されて上部構造の可動範囲が広がり、上部構造が橋脚頂部から外れて倒壊した。

橋梁模型 4 の実験では、振動により変位制限装置が壊れて支承から上部構造が落橋した際に落橋防止装置が働く場合の挙動を検証する。そのため可動支承を有する橋脚の厚さを 2mm から 3mm に変更することで変位制限装置を破壊して落橋防止装置が作動するようにした。結果として、変位制限装置が壊れ、桁かかり長が小さいために上部構造から橋脚頂部が外れるところは確認できたが、落橋防止装置を結束線で製作したため、上部構造の重量に耐えきれず結束線が千切れて落橋した。

単柱模型、橋梁模型 1 の振動実験において観測されたアルミ板の最大ひずみを表-4 に示す。振動台加速度は強制振動時において振動台上に設置した加速度計によって測定された最大加速度である。橋梁模型 1 の最大ひずみが観測されたアルミ板厚は 2mm が可動支承側、3mm が固定支承側

表-5 引張試験結果詳細

アルミ板厚 (mm)	降伏軸力 (kN)	引張軸力 (kN)	弾性係数 (kN/mm^2)
2	6.4	7.35	56.2
3	12.0	13.15	62.2

である。最大ひずみはいずれも倒壊の瞬間に観測された値であり、単柱模型より橋梁模型 1 の最大ひずみの方が大きな値が測定された。

また橋脚部材として用いたアルミ板の引張試験を行った。試験結果を表-5 に示す。引張試験から得られた応力とひずみから厚さ 2mm と 3mm のアルミ板の弾性係数を求めた。ここでは単柱模型、橋梁模型の各橋脚を一端固定他端自由の柱と考えると、弾性係数から計算した座屈荷重は、可動支承を有する橋脚において厚さ 2mm のアルミ板で 29.6N、厚さ 3mm のアルミ板で 73.7N、固定支承を有する橋脚ではそれ以上となり、実験時の上部構造反力より大きい。これより単柱模型と固定支承を有する橋脚において、上部構造反力と水平加速度による曲げモーメントが全塑性曲げモーメントより大きくなることで橋脚基部が全塑性状態となり、倒壊すると考えられる。

4. まとめ

本研究では、地震により橋梁が倒壊したときに上部構造や橋脚が示す挙動を検証することを目的として、振動実験により橋梁模型を倒壊させることでその挙動を確かめた。その結果、橋脚の剛性や強度あるいは上部構造に設けた桁かかり長の大きさの違いにより異なる倒壊挙動を確認することができた。振動実験から、橋梁模型では可動支承と固定支承を有する橋脚の場合、固定支承を有する橋脚に大きな力が加わると考えられるが、変位制限装置や落橋防止装置が働いた場合には可動支承を有する橋脚にも大きな力が加わり、倒壊の危険があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，2002.3.
- 2) 宇佐美 他：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，pp.165-167，技報堂出版，2006.